

論 文

高炉コークス水分計測技術の開発

天野 豁*・西川 広*²・堀内 昭一*³・富永 洋*⁴The Development of a Moisture Measurement System
for Blast Furnace Coke

Hiro AMANO, Hiroshi NISHIKAWA, Shōichi HORIUCHI and Hiroshi TOMINAGA

Synopsis:

Conventional neutron moisture gauges for blast furnaces have poor accuracy caused by a measuring principle itself, that is $\pm 2\text{wt}\%$ when measuring moisture content of $5\text{wt}\%$. In order to solve the problem of accuracy, a new method of moisture measurement for blast furnace coke has been developed, using transmission of fast neutrons and γ -rays from ^{252}Cf . In this method, an organic scintillator and pulse counter system which has pulse shape discrimination properties are used to detect fast neutrons and γ -rays simultaneously, and it enables the measurement of moisture and bulk density at the same time.

A moisture gauge using this method shows good linearity over a wide moisture range permitting measurements with a very high accuracy of $\pm 0.5\text{wt}\%$. Further, it can measure the moisture of coke accurately even if wet coke and dry coke are present in a mixed state in the coke hopper. Therefore this moisture gauge is suitable for blast furnace operations which aim at precise heat level control.

1. 緒 言

鉄鋼業においては放射線を利用した計測機器が広く普及している。その中でも γ 線, X 線を利用したオンライン鋼板厚み計は, プロセス制御の精度向上に対応して検出器, 信号処理技術の開発にめざましいものがあり, 測定精度が測定板厚の $\pm 0.1\%$ に達する装置の実用化が, はかられている。しかしながら, 製鉄工程に利用されている中性子を用いた水分計は原理上の問題から精度が悪く, 例えば高炉コークス用中性子水分計の場合, $5\text{wt}\%$ の水分測定時の精度が $\pm 2\text{wt}\%$ もあり, 炉熱管理の強化をはかる高炉操業には追従が困難な状況にあり, 精度向上をはかる必要があつた。そのために新しい中性子線源である ^{252}Cf (カリホルニウム-252) を利用し, その特長を生かして, かつ従来の中性子水分計とくらべて, 測定原理を散乱型から透過型に一新した高精度中性子水分計測技術を開発した。カリホルニウムは熱核爆発実験の際の灰から 1952 年にカリホルニア大学で発見された中性子線源であり, その同位元素である ^{252}Cf は中性子強度, 線源形状の点において, 従来の中性子線源よりはるかにすぐれており, かつ中性子だけでなく同時にある程度の強さの γ 線も放出するという特長がある。この特長をうまく利用し γ 線による嵩密度補正等を実施するこ

とにより, 測定精度 $\pm 0.5\text{wt}\%$ の高精度を達成することに成功した。本水分計測技術を用いた水分計により, 高炉の炉熱管理に対応できるとともに, 従来の水分計では原理的にサンプリング精度が悪くなり精度維持ができないウェットコークスと C.D.Q. (コークスドライクエンチング) によるドライコークスとの混合状態でのコークス水分に対しても高精度に測定することが可能である。

以下に筆者らが行つた開発研究の成果を報告する。

2. 従来型水分計の問題点

従来の中性子水分計は散乱型と呼ばれる原理¹⁾を用いており線源として主に $^{241}\text{Am-Be}$ (アメリシウム-ベリリウム) が多く使われている。 $^{241}\text{Am-Be}$ 中性子線源から放出されたエネルギーの高い高速中性子は, コークス中のあらゆる原子と衝突するが, 特に水素原子との衝突によりエネルギーを失い, 十数回の衝突後, 高速中性子はエネルギーの低い熱中性子になる。この熱中性子の数は, 単位体積あたりの水素原子の数にほぼ比例し, 嵩密度が一定であればコークス単位重量あたりの水分に比例する。従来の水分計は, コークスホッパーの側壁に設置され上述の原理を利用して熱中性子数の検出により, コークスの水分測定を行つている。このため次に示す 4 つの問題点があ

昭和 58 年 12 月 1 日受付 (Received Dec. 1, 1983)

* 新日本製鉄(株)設備技術本部 (Plant Engineering & Technology Bureau, Nippon Steel Corp.)

*² 新日本製鉄(株)君津製鉄所 (Kimitsu Works, Nippon Steel Corp., 1 Kimitsu Kimitsu 299-11)

*³ (株)日立製作所那珂工場 (Naka Works, Hitachi, Ltd.)

*⁴ 日本原子力研究所 工博 (Japan Atomic Energy Research Institute)

りその結果総合精度としては ±2 wt% (5 wt% 水分測定時) と非常に悪いものであつた。

- i) 測定有効体積が、ホッパ内コークス体積の約 1% しかなく、サンプリング誤差が大きい。
- ii) コークス嵩密度の変動の影響がある。
- iii) ホッパのライナ摩耗・付着物の影響がある。
- iv) 低水分での熱中性子検出数が少なく放射線計測上の統計誤差が大きくなる。

3. 高精度水分計の技術的特長

3.1 測定原理

新しい水分計には線源と検出器をホッパのコークス切出口に対向して配置し、その間のコークスを透過してくる ²⁵²Cf から同時に放出された中性子と γ 線の数計測する透過型の原理を用いた。Fig. 1 に高精度型水分計の装置構成を示す。装置は線源容器、検出器、及び信号処理装置とから構成されている。²⁵²Cf から放出された高速中性子と γ 線は、線源容器出口にてコリメートされ、ホッパの鉄壁を通して、ホッパ内のコークスを減衰を受けながら透過し、検出器に入り電気的パルスに変換される。この出力は n- γ 弁別回路にて分離され、それぞれのカウンタで計数される。そして各計数値を用いて理論演算式に基づいた信号処理により水分値が計算される。²⁵²Cf 中性子線源より放出された高速中性子と γ 線は、コークスを通過する際にそれぞれ主にコークス中水分の水素原子の量およびコークス嵩密度に対応して減少する。ここで、コークスの嵩密度を ρ_1 、水分の嵩密度を ρ_2 、コークスの見かけ厚さを x_1 、水分の見かけ厚さを x_2 、高速中性子および γ 線のコークス、水に対する吸収係数をそれぞれ μ_{n1} 、 μ_{n2} 、 $\mu_{\gamma 1}$ 、 $\mu_{\gamma 2}$ とすると、高速中

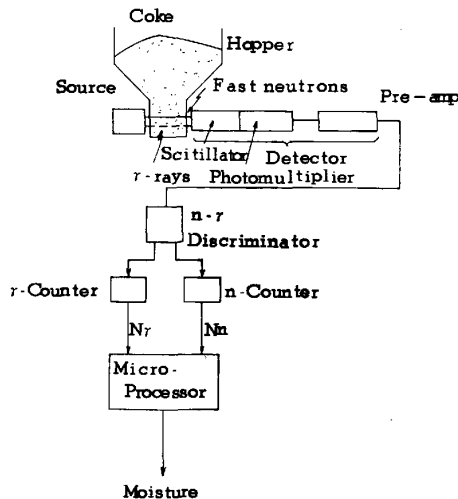


Fig. 1. Composition of neutron moisture gauge.

性子、及び γ 線のそれぞれの物質を通過したときの減衰は、ある範囲において次式で表される。

高速中性子の減衰

$$\exp[-(\mu_{n1}\rho_1x_1 + \mu_{n2}\rho_2x_2)] \dots\dots\dots (1)$$

γ 線の減衰

$$\exp[-(\mu_{\gamma 1}\rho_1x_1 + \mu_{\gamma 2}\rho_2x_2)] \dots\dots\dots (2)$$

今、線源より放出される高速中性子数及び γ 線の数 N_{n0} 、及び $N_{\gamma 0}$ とし、検出器出力のカウンタの計数値を N_n 、 N_γ とすると、前述の式(1)、(2)より次式にて表される。

高速中性子計数

$$N_n = N_{n0} \cdot K_n \cdot S \cdot T / 4\pi R^2 \cdot \exp[-(\mu_{n1}\rho_1x_1 + \mu_{n2}\rho_2x_2 + \mu_{n3}\rho_3x_3)] \dots\dots\dots (3)$$

γ 線計数

$$N_\gamma = N_{\gamma 0} \cdot K_\gamma \cdot S \cdot T / 4\pi R^2 \cdot \exp[-(\mu_{\gamma 1}\rho_1x_1 + \mu_{\gamma 2}\rho_2x_2 + \mu_{\gamma 3}\rho_3x_3)] \dots\dots\dots (4)$$

K_n : 高速中性子検出効率, K_γ : γ 線検出効率, S : 検出器断面積, T : 測定時間, R : 線源~検出器間距離, μ_{n1} : 高速中性子のコークスに対する吸収係数 (cm²/g), μ_{n2} : 高速中性子の水に対する吸収係数 (cm²/g), μ_{n3} : 高速中性子の鉄に対する吸収係数 (cm²/g), $\mu_{\gamma 1}$: γ 線のコークスに対する吸収係数 (cm²/g), $\mu_{\gamma 2}$: γ 線の水に対する吸収係数 (cm²/g), $\mu_{\gamma 3}$: γ 線の鉄に対する吸収係数 (cm²/g), ρ_1 : コークスの嵩密度 (g/cm³), ρ_2 : 水分の嵩密度 (g/cm³), ρ_3 : 鉄の密度 (g/cm³), x_1 : コークスの見かけ厚さ (cm), x_2 : 水分の見かけ厚さ (cm), x_3 : ホッパライナ厚み (cm)。

ここでホッパ内にコークスが無い時の高速中性子及び γ 線の検出数をそれぞれ N_{nAz} 、 $N_{\gamma Az}$ とすると

$$N_{nAz} = N_{n0} \cdot K_n \cdot S \cdot T / 4\pi R^2 \cdot \exp[-\mu_{n3}\rho_3x_3] \dots\dots\dots (5)$$

$$N_{\gamma Az} = N_{\gamma 0} \cdot K_\gamma \cdot S \cdot T / 4\pi R^2 \cdot \exp[-\mu_{\gamma 3}\rho_3x_3] \dots\dots\dots (6)$$

と表される。(3)、(4)、(5)、(6)式より

$$\begin{bmatrix} \mu_{n1} & \mu_{n2} \\ \mu_{\gamma 1} & \mu_{\gamma 2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \rho_1x_1 \\ \rho_2x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ln(N_{nAz}/N_n) \\ \ln(N_{\gamma Az}/N_\gamma) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (7)$$

(7)式より ρ_1x_1 、 ρ_2x_2 が求まり、水分 M (wt%) は

$$M = \rho_2x_2 / (\rho_1x_1 + \rho_2x_2) \times 100 \text{ wt}\% \dots\dots\dots (8)$$

により求まる。

以上の原理を用いることにより、次のことが可能となる。これらは従来型水分計の4つの問題点を解決できるものである。

- i) ホッパゲート部にて、切出中のコークス水分を連続測定することにより、ホッパ全体のコークス水分の平均値を求める。

ii) 高速中性子, γ 線の両方を測定することにより嵩密度補正をした水分測定を行う。

また, 1つの検出器で, 同一空間を透過してくる高速中性子と γ 線を波形弁別計測することにより, 正確な嵩密度補正を行える。

iii) コークスがない時の高速中性子と γ 線の計数を測定することにより, ホッパライナ摩耗および付着物の影響を補正した水分測定を行う。

iv) 透過型原理のため低水分域において, 高速中性子および γ 線の検出数が多くなり, 統計誤差が小さくなる。

3.2 ハード技術の特長

3.2.1 中性子線源

^{252}Cf は自発核分裂性の放射性核種で, 毎秒 2.3×10^9 n/mg という高率で中性子を放出し, 工業計測や種々の研究分野において重要な中性子源として利用されている^{2)~4)}。この線源の特長は従来より使用されている (α , n) アイソトープ中性子線源, 例えば $^{241}\text{Am-Be}$ に比べて単位容積当たりの中性子放出率が抜群に高いため小型で高出力の中性子線源が可能になることである, また ^{252}Cf 中性子のエネルギー分布ピークは 1~2 MeV にありその平均エネルギーは約 2 MeV である。 $^{241}\text{Am-Be}$ の場合のピーク約 3 MeV, 平均 4~5 MeV と比べると, ^{252}Cf 中性子のエネルギーは $^{241}\text{Am-Be}$ のおよそ 1/2 程度である⁵⁾。そこで Fig. 2 に示すように, 例えば水と炭素との中性子に対する質量吸収係数の比をエネルギー 2 MeV と 4 MeV で比較すると, 前者は約 3, 後者は約 2 となり, ^{252}Cf は $^{241}\text{Am-Be}$ に比べ水分測定に有利である。ところで γ 線に対する質量吸収係数は Fig. 3 に示すとおり, 0.5 MeV 以上の中または高エネルギー領域では物質による差異は少なく, そのため質量厚さまたは嵩密度の測定に適している。しかし, その計測の感度の点からは吸収係数が大きいこと, つまり γ 線エネルギーは上記の範囲で低いことが望まれる。この点からも ^{252}Cf は目的にかなった線源である。 ^{252}Cf 線源では核分裂 γ 線と分裂生成物の γ 線が大部分であり, 0.5 MeV 以下の低エネルギーから数 MeV の高エネルギーまでエネルギーの高くなるほど減少する分布をもっている。また γ 線放出数は中性子のその数倍になる。それに対し $^{241}\text{Am-Be}$ 線源では ^{241}Am 自体からの低エネルギー γ 線(主として 60keV)を放出するが, 吸収係数が大きく透過距離 1 m ではほとんど減衰する。また, $^9\text{Be}(\alpha, n)^{12}\text{C}$ の核反応に伴う 4.43 MeV の高エネルギー γ 線を放出するが, その数は中性子の 0.7 倍⁵⁾ しかない。

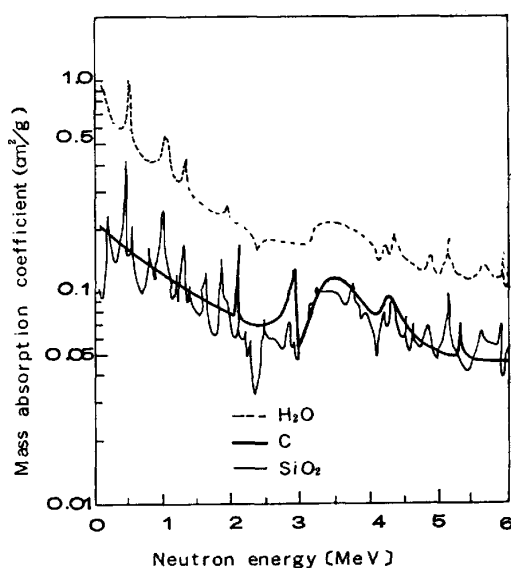


Fig. 2. Absorption coefficients of neutrons.

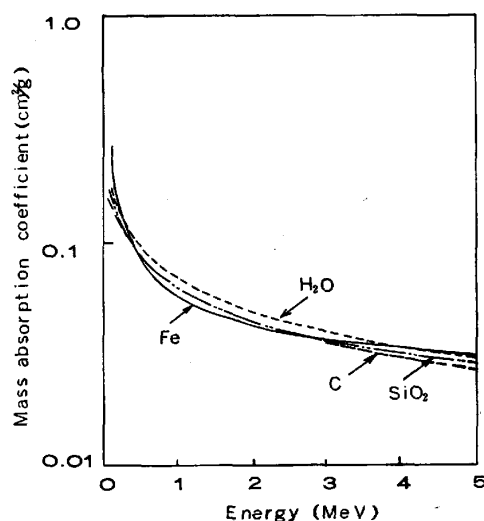


Fig. 3. Absorption coefficients of γ -rays.

3.2.2 中性子・ γ 線の弁別

(1) 検出器

検出器として NE 213 液体シンチレータを採用した。NE 213 液体シンチレータは高速中性子検出器として従来より実験室では広く使われているが, 特に中性子と γ 線の波形弁別において優れた特性を持っている。すなわち, γ 線のコンプトン散乱電子による発光の減衰時間が中性子の反跳陽子による発光の減衰時間よりも短いため出力パルスには波形の違いがある。したがって波形弁別回路を使用することにより, 中性子と γ 線の弁別が可能になる。

(2) 波形弁別の方法

波形弁別はまず一般的な方法の 1 つとしてパルスのラ

ライズタイムをパルス波高に変換して波形弁別を行う方式⁶⁾を用いた。シンチレータの発光はフォトマルで電気パルスに変換されリアアンプで増幅されることにより、発光の減衰時間の差がパルスの立上り時間（ライズタイム）の差に変換される。従つてライズタイム-波高変換器により中性子と γ 線の波型の違いをパルス波高の差に変換し、シングルチャンネルアナライザを用いて波高弁別を行うことにより中性子、 γ 線のパルスを得ることができる。ライズタイム-波高変換器の動作を Fig. 4 及び Fig. 5 によつて説明する。入力パルスは遅延ライン (DL1) とアッテネータに加えられ、両者を通つたパルスはコンパレータで振幅弁別をする。この時の波形は Fig. 5 に示すように遅延パルスの立上り上部 (UP) で交差を生じその時点のタイミング検出が行われる。こ

れと同様の回路をもう一組用意して、R7, R8 のアッテネータの減衰率を大きくとつておくと、この組のコンパレータでは遅延パルスの立上り下部 (LP) で交差が行われる。

このような2つのコンパレータの出力は遅延パルスの、立上りの下部と上部のタイミングを検出することになり遅延パルスは入力パルスと同一の波形であることから入力パルスのライズタイムの測定が行われることになる。これら両者のコンパレータ出力は、ミキサー回路で合成し両者のタイミングの間隔を1つのパルス幅に直し、更に時間-波高変換回路で波高に変換して取り出すと、入力パルスのライズタイムに比例した波高出力が得られることになる。この方式によれば、波高の異なるパルスに対しても一定の比率で減衰したパルスで交差をとるため、各回路に直線性を与えておけば波高に無関係に動作する。

4. 開発経過

試験機的设计をするために、²⁵²Cf の中性子及び γ 線の透過特性試験を行い、その基本特性を調査するとともに、検出器の寸法と検出効率の関係、 $n-\gamma$ 弁別回路の回路定数と弁別性能の関係、検出系の温度特性、線源容器の構造、線源周囲材料と線束コリメーションとの関係等を求めるテストを実施した⁷⁾。その結果に基づいて、試験機を設計・製作し、オフライン状態での静的性能試験、動的性能試験により水分測定精度が目標の ± 0.5 wt% を達成していること、安定性に問題のないことを確認した。

静的性能試験では、検出器、線源容器及びホッパゲート部を模擬した鉄製の試料容器をオンライン試験の時と同じ位置関係に配置をして、精度試験を行った。試料容器内での水分及び嵩密度を一樣にするため校正標準として活性炭及びグラファイトを使用し活性炭に加水することにより水分水準を、グラファイト挿入枚数を変えることにより嵩密度水準を変化させてそれぞれの水準における高速中性子、 γ 線の計数を計測した。水分は試料容器内9点からサンプリングした活性炭の乾燥法水分の平均値を採用した。高速中性子、 γ 線の検出数と上記水分の測定結果より、理論式にもとづき重回帰で高速中性子、 γ 線それぞれの質量吸収係数を求めた結果、 $\mu_{n1}=0.06288$, $\mu_{n2}=0.1644$, $\mu_{\gamma1}=0.04583$, $\mu_{\gamma2}=0.05835$ となつた。求めた μ_{n1} , μ_{n2} , $\mu_{\gamma1}$, $\mu_{\gamma2}$ の値を用いて、上記で得られた計数データより活性炭及びグラファイトからなる試料の水分を計算した結果を Fig. 6 に示す。

Fig. 6 は試験機の性能として広範囲 (1~13 wt%) に

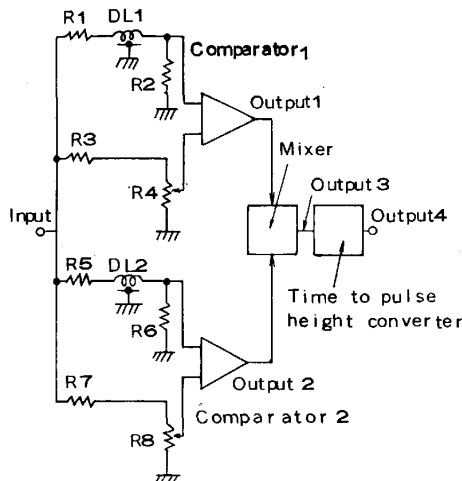


Fig. 4. Circuit of risetime to pulse height conversion.

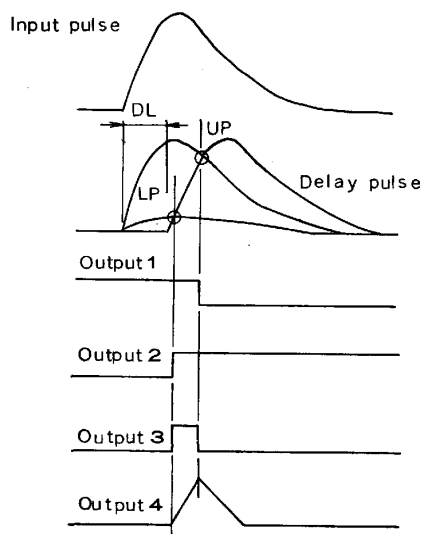


Fig. 5. Shape of output signals.

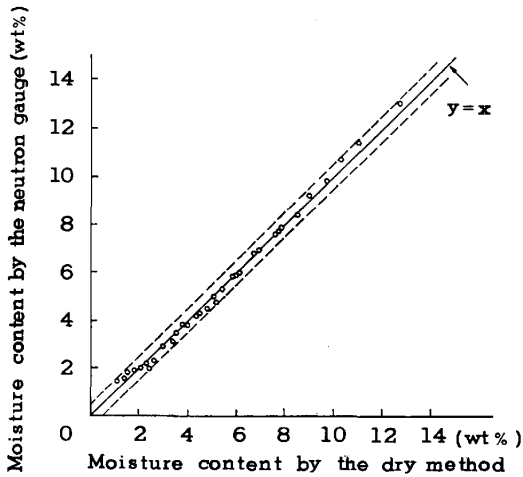


Fig. 6. Relationship between moisture content measured by the dry method and the neutron gauge.

わたつて直線性があり、ばらつきを含めて ± 0.5 wt% に入っていることを示している。本校正では測定時間 30 s の測定 5 回の平均値を用いているため、水分によつて異なるが、統計ノイズとして $0.3 \sim 0.4$ wt% (3σ) を含んでおり、実際の直線性は ± 0.5 wt% より良いものである。また、統計ノイズは検出数より計算でき、水分 5 wt%、高密度 0.5 g/cm^3 、測定時間 60 s の時 ± 0.5 wt% (3σ) である。オフライン試験終了後、昭和 55 年 9 月 18 日に水分計を君津 4 高炉 No. 1 コークスサージホッパに設置し、昭和 55 年 12 月 18 日までオンライン精度の評価テストを実施した。7~14 t のコークスをサージホッパから装入 BC 上に切出して水分計でコークス水分測定後装入 BC を停止させ、装入 BC 上 10 ㎝以上からコークスをサンプリングし (50 kg/1 ㎏所)、そのコークスの乾燥法水分値と水分計測定値の比較を行った。その結果を Fig. 7 に示す。Fig. 7 によりオンラインにおける水分計の精度が ± 0.5 wt% を達成していることを確認した。

5. 実機装置

前述の試験機によるテスト終了後、実機装置の設計、製作を行い、昭和 57 年 10 月に君津製鉄所 2 高炉、4 高炉のコークスサージホッパのそれぞれに計 4 台設置した。その特長と性能について以下に述べる。

5.1 実機装置における改善内容

実機装置の設計にあたって、装置の小型化、測定回路の安定性向上をはかつて、Table 1 に示す改善をはかった。これらの改善内容のうち、 $n-\gamma$ 弁別を含む測定回路の特長を以下に説明する。波形弁別は中性子と γ 線によるパルスのゼロレベルをクロスする時間差を利用した

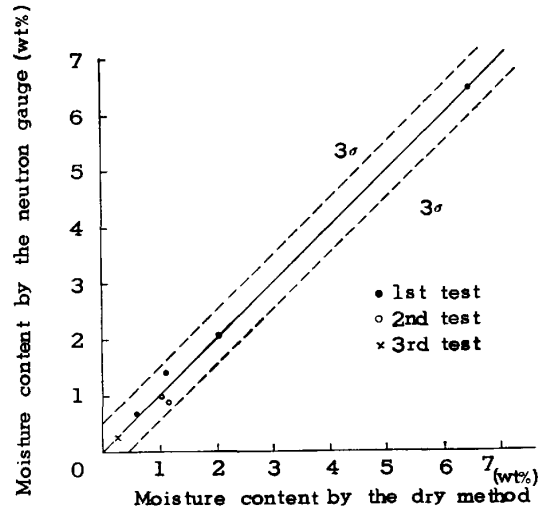


Fig. 7. Result of the on-line test of the neutron gauge.

Table 1. Improvement for the proper gauge.

Item	Purpose	Improvement
1. Source	Decrease of source vessel scale	Reduction of source activity
2. Detector	Increase of sensitivity	Increase of scintillator diameter 5 inches \rightarrow 12 inches
3. Circuit	(1) Rapid response of $n-\gamma$ discriminator (2) High stability of $n-\gamma$ discriminator	Fast P.S.D (zero-cross method) Compensation of spectrum shift Automatic gain control

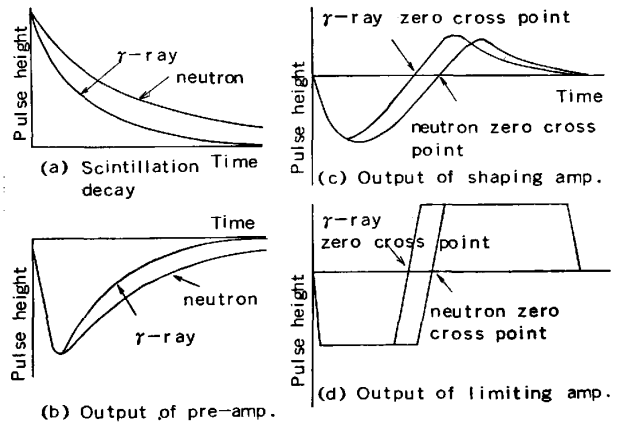


Fig. 8. Shape of each output signal.

ロクロス法⁸⁾による。液体シンチレータの発光の減衰時間は Fig. 8(a) に示すように中性子は長く γ 線は短い。この発光をフォトマルで検出しプリアンプで増幅すれば (b) に示す波形になる。これが検出器の出力波形で波形弁別回路 (以下 PSD と略記) へ入力する。PSD 回路ではシェーピング回路で波形整形して (c) に示すバイポーラパルスにする。これをリミッティングアンプで増幅して (d) の方形波パルスにする。ここで中性子

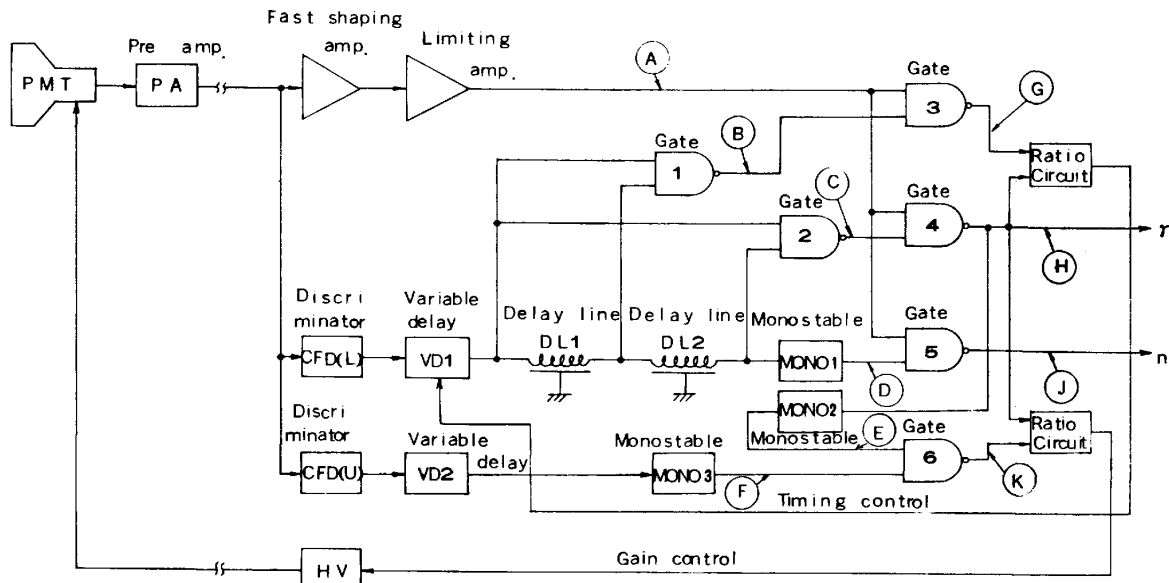


Fig. 9. Block diagram of fast P. S. D circuit.

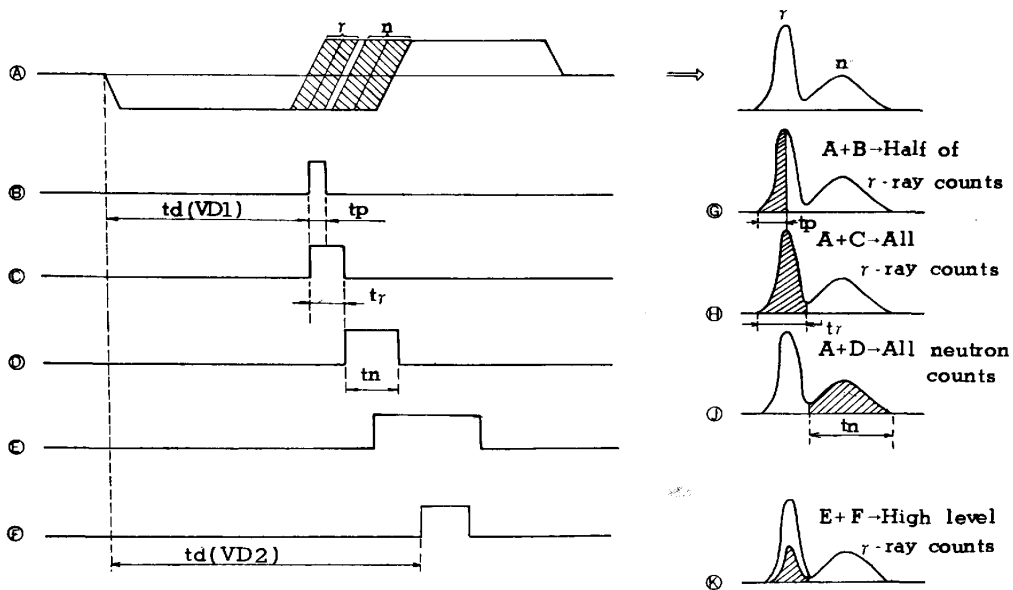


Fig. 10. Shape of each output signal.

と γ 線のパルスのゼロレベルをクロスする時間に差が出ているので、各々の位置にゲートを設けて中性子、 γ 線のパルスを弁別する。PSD 回路のブロック図を Fig. 9 および動作説明を Fig. 10 に示す。検出器の出力パルスはシェーピングアンプおよび 2 台のディスクリミネータに入力する。ディスクリミネータ CFD(L) はノイズを除去するため一定波高以上のパルスを検出しタイミング信号を出す。この信号は遅延回路 VD1 で Fig. 10 のパルス幅 td だけ遅延され、さらに遅延回路 DL1, DL2 で遅延させたパルスとからゲート 2 により γ 線用のゲートパルス (C: Fig. 9, Fig. 10 中の記号を示す。以下同様) となる。このゲートパルスとリミッティングア

ンプの出力 (A) とからゲート 4 で γ 線パルス (H) が得られる。同様にしてゲートパルス (D) とリミッティングアンプ出力 (A) とからゲート 5 により中性子パルス (J) を取り出す。このようにして中性子と γ 線のゼロレベルをクロスする時間に対して各々時間ゲートを設けて中性子と γ 線を弁別している。PSD 回路を工業利用するためには次の 2 つの安定化が不可欠である。i) 弁別特性: フォトマルおよび回路素子の経時変化によりリミッティングアンプの出力における中性子、 γ 線の分布位置が移動する。このため各々の計数を取り出すゲートを固定していたのでは計数値に誤差が生じるのでゲートの位置も分布にあわせて制御する必要がある。ii) ゲイン: 同様

の原因により測定系のゲインが変化するのでゲインを一定に制御する必要がある。これらの変動要因に対し常時連続的および自動的に制御することが必要であるから、測定信号自身から制御信号を取り出しフィードバックをかけるようにした。弁別特性の制御については γ 線パルス (H) の全計数とピーク位置で分割した一部の計数 (ゲートパルス (B) とリミッティングアンプ出力 (A) より得られるパルス (C) の計数) の比をとり、分布が移動するとこの比の値が変化するので、この比が一定になるように遅延回路 VD1 の遅延時間を制御している。ゲインの制御についてはゲートパルス (E) とゲートパルス (F) によつて高レベルに設定したディスクリミネータ CFD(U) を通過した γ 線パルス (K) の全計数を得て、前述の低レベルディスクリミネータ CFD(L) を通過した γ 線パルス (H) の全計数との比をとり、この比が一定となるようにフォトマルに印加する高電圧を制御している。以上の2つの安定化制御によりフィールドにおいても満足できる安定性が得られている。

5.2 測定精度

昭和 57 年 10 月本水分計設置後、昭和 57 年 11 月に 2 高炉、4 高炉のそれぞれ 1 台について、休風日を利用して、試験機のオンラインテストと同様の方法で、測定精度の確認を行った。その結果を Fig. 11 に示す。4 高炉で用いたコークスが 1 点を除いて水分の非常に少ないものであつたため、その結果は直線性についての評価はできないが、2 高炉における結果より、本水分計は低水分域まで直線性がありその精度は $\pm 0.5 \text{ wt}\%$ であることが確認できた。なお、実機装置についても試験機の

場合と同様にオフラインで静的精度が $\pm 0.5 \text{ wt}\%$ 以内であることは確認できている。

6. 結 言

高炉コークスの水分測定において本水分計測技術により広範囲にわたつて直線性があり $\pm 0.5 \text{ wt}\%$ の高精度測定が可能であることが実証された。これは高密度が不均一で、かつ水分の偏在するコークスに対しても本水分計の測定原理上のポイントであるサンプリング誤差が小さいこと、高速中性子、 γ 線の同時分離計測による嵩密度補正の機能等によつて達成されたものである。

君津製鉄所においては昭和 57 年 11 月よりウェットコークス、ドライコークスの混合状態でもコークスホッパにおける高精度水分測定によつて炉熱管理を強化している。その経済効果としては、上記混合状態では従来型の水分計では精度が悪く、従来なみの炉熱管理を実施するためのコークス送駁システムの改造が必要であるが、その設備費を削減できたこと、及び高精度の水分測定が可能になつたことによりコークス比等を低減できたことの2つをあげることができる。

本水分計の開発は、RI 利用開発の分野では見られなかつた公的研究機関とメーカ、ユーザの3者からなる推進体制をとり、3者の技術と効率的な業務分担により約2年間で基礎研究、試験機テストまで終わらせその2年後に実用化させることができたものである。

本開発において積極的な推進と御協力をいただいた。株式会社日立製作所、日本原子力研究所、新日本製鉄株式会社の関係者のかたがたに対し、深く感謝いたします。

文 献

- 1) 永盛峰雄: 土工管理とラジオアイソトープ (土質工学会編) (1974), p. 38
- 2) 石井大道: Japan Analyst, 23 (1974), p. 47
- 3) 石井大道, 富永 洋, 和田延夫, 野尻利明, 榎本茂正: Radioisotope, 24 (1975), p. 239
- 4) 山本毅史, 石谷尹利, 土弘道夫: 鹿島建設技術研究所年報, 26 (1978), p. 93
- 5) The Radiochemical Centre, Amersham: Technical bulletin 76/7
- 6) S. KIMBARA and T. KUMAHARA: Nucl. Instrum. Methods, 59 (1978), p. 227
- 7) T. TOMINAGA, N. WADA, N. TACHIKAWA, Y. KURAMOCHI, S. HORIUCHI, Y. SASE, H. AMANO, N. OKUBO and H. NISHIKAWA: Int. J. Appl. Radiat. Isotope, 34 (1983), p. 249
- 8) P. SPERR, H. SPIELER and M. R. MAIER: Nucl. Instrum. Methods, 116 (1974), p. 55

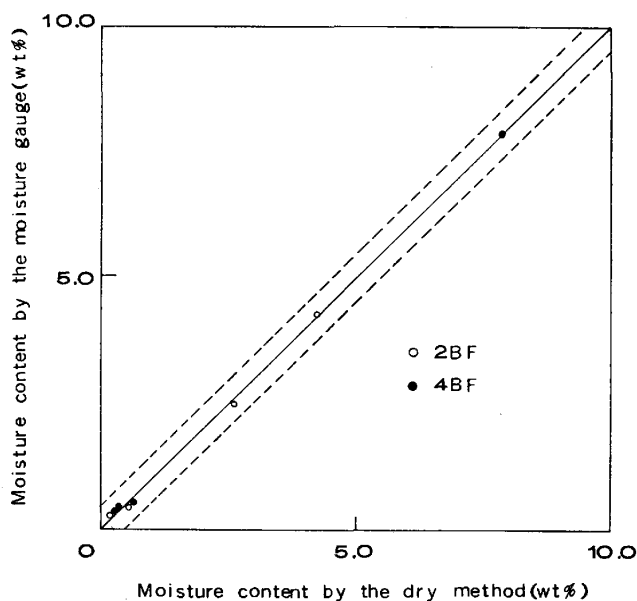


Fig. 11. Result of accuracy test of the proper gauges.